Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 2, Summer 2023, p. 173-188

Evaluation of Heterosis and Heritability of Quantitative Traits and Grouping of New Cultivars and Genotypes of Fennel (*Foeniculum vulgare*. Mill)

A. Akbari[1], A. Izadi-Darbandi[2*], H. Ramshini[2], M. Ebrahimi[2]

Received: 17-05-2022 Revised: 09-12-2022 Accepted: 13-12-2022	**How to cite this article:** Akbari, A., Izadi-Darbandi, A., Ramshini, H., & Ebrahimi, M. (2023). Evaluation of heterosis and heritability of quantitative traits and grouping of new cultivars and genotypes of fennel (*Foeniculum vulgare*. Mill). *Iranian Journal of Field Crops Research, 21*(2), 173-188. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.76727.1175

Introduction

Fennel is a cross-pollinating plant and one of the most important medicinal plants of the *Apiaceae* family, whose essential oil is widely used in various pharmaceutical, food, and cosmetic industries. Fennel originated from the Mediterranean region and is a biennial or perennial species. Fennel essential oil has been demonstrated to have antioxidant, anti-cancer, antibacterial, antifungal, and analgesic effects. Improving yield is one of the important goals of breeding, and the use of heterosis as one of the powerful tools to improve yield has always been of interest to breeders. This study was conducted to evaluate seed yield and yield components of three synthetic cultivars of fennel and compere with eight parental populations.

Materials and Methods

To investigate the yield, yield components, and the degree of heterosis of important traits of breeding fennel cultivars, three synthetic cultivars along with eight superior parents were investigated in the form of a randomized complete block design. The experiment was conducted in the spring of 2019 in the research field of the College of Aburaihan, University of Tehran, located in Pakdasht. During the growing period and after harvest the traits such as no. umbel, number of nodes, no. umbellets per umbel, no. seed per umbel, harvest index, seed yield per plant, plant biomass, 1000 seed weight, essential oil content, essential oil yield, and seed yield were measured in the 50% flowering stage. Analysis of variances was done and a comparison of means was performed by Duncan‘s multiple range at a five percent probability level. Heterosis, Heritability of traits, and some genetic parameters of the traits in fennel genotypes were calculated. To determine the genetic distance and grouping of genotypes, principal component analysis, and cluster analysis were performed. All analyses were carried out using the SAS and Statgraphics software.

Results and Discussion

Based on the results of the analysis of variance, the differences between the studied genotypes were significant for all traits. Medium and late synthetic cultivars had significantly higher seed yield and essential oil yield than other genotypes and their yield heterosis rate was positive compared to the average of parents and was 39% and 38%, respectively. Evaluation of heterosis rate showed that cultivars Synthetics were superior to parents in most traits. General heritability for different traits was estimated to be between 34% and 93%. In this study, the phenotypic variation coefficients of all traits were higher than the genetic variation coefficients, which indicated the existence of environmental factors for these traits The results showed that principal components that the first four components account for more than 90% of the total variance changes. Based on the cluster, genotypes were divided into four groups. It could be expected that these synthetic cultivars can be introduced and expanded in the market of medicinal plants after being registered as commercial cultivars.

1- PhD Student, Plant Breeding, Abureihan College, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Associate Professor, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: aizady@ut.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.76727.1175

Conclusion

In general, the results of this study indicated that the mean squares of the parents against synthetic cultivars were significant for most of the traits, indicating the occurrence of heterosis in these traits. The results showed that the heterosis of most traits of synthetic cultivars was additive and positive. The highest percentage of heterosis compared to parents was for seed yield, essential oil yield, and the number of umbrellas per plant. It also seems that the traits related to yield components have higher heritability than other traits. The results showed that the synthetic cultivars were superior to their parent genotypes in terms of seed yield and essential oil yield. As a result, it should be said that the breeding method of creating synthetic cultivars in the fennel plant is successful. It can be expected that these synthetic cultivars could be introduced and expanded in the market of medicinal plants after being registered as commercial cultivars.

Keywords: Heritability, Heterosis, Synthetic cultivars

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص ۱۸۸-۱۷۳

ارزیابی میزان هتروزیس و وراثت‌پذیری صفات کمی و گروه‌بندی ارقام جدید و ژنوتیپ‌های رازیانه (*Foeniculum vulgare*. Mill)

اعظم اکبری[۱]، علی ایزدی دربندی[۲*]، حسین رامشینی[۲]، محسن ابراهیمی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۲

چکیده

رازیانه گیاهی دگرگرده‌افشان و یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی خانواده چتریان است، که اسانس آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی و آرایشی کاربرد فراوان دارد. بهبود عملکرد یکی از اهداف مهم به‌نژادی محسوب می‌شود و بهره‌گیری از هتروزیس به‌عنوان یکی از ابزارهای قدرتمند جهت ارتقای عملکرد همیشه مورد توجه به‌نژادگران بوده است. به‌منظور بررسی میزان عملکرد، اجزای عملکرد و میزان هتروزیس صفات مهم ارقام اصلاح‌شده رازیانه، سه رقم اصلاح‌شده سینتتیک به همراه هشت والد برتر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. براساس نتایج تجزیه واریانس اختلاف ژنوتیپ‌های مورد مطالعه برای همه صفات معنی‌دار شد. در ارقام سینتتیک میانرس و دیررس میزان عملکرد دانه و عملکرد اسانس به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و میزان هتروزیس عملکرد آن‌ها نسبت به میانگین والدین مثبت و به‌ترتیب ۳۹٪ و ۳۸٪ بود است، ارزیابی میزان هتروزیس نشان داد که ارقام سینتتیک در اکثر صفات نسبت به والدین برتری داشت. وراثت‌پذیری عمومی برای صفات مختلف بین ۳۴٪ تا ۹۳٪ برآورد گردید در این بررسی ضرایب تنوع فنوتیپی کلیه صفات بیشتر از ضرایب تنوع ژنتیکی بود که نشان‌دهنده وجود اثرات عوامل محیطی بر این صفات بود. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که ۴ مؤلفه اول بیش از ۹۰ درصد تغییرات کل واریانس را توجیه می‌نمایند. بر اساس تجزیه خوشه‌ای به روش وارد ژنوتیپ‌ها در چهار گروه قرار گرفتند. می‌توان انتظار داشت که این ارقام سینتتیک بتوانند پس از ثبت به‌عنوان رقم تجاری، در بازار گیاهان دارویی معرفی و گسترش یابند.

واژه‌های کلیدی: ارقام سنتتیک، وراثت‌پذیری، هتروزیس

مقدمه

براساس برآوردهای سازمان بهداشت جهانی، بیش از ۸۰ درصد از جمعیت جهان در کشورهای در حال توسعه سلامتی خود را به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، مدیون گیاهان دارویی هستند و در کشورهای پیشرفته نیز استفاده از ترکیبات شیمیایی گیاهان دارویی رو به افزایش است(Canter, Thomas, & Ernst, 2005). رازیانه با نام علمی (*Foeniculum vulgare* Mill.) گیاهی علفی، معطر و چندساله از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی خانواده چتریان (Apiaceae) است. مهم‌ترین ترکیب اسانس رازیانه را آنتول[۳] تشکیل می‌دهد که اهمیت فراوانی در صنایع داروسازی و عطرسازی دارد. ترکیبات مهم دیگر شامل فنکون[۴]، لیمونن[۵]، استراگول[۶] و آلفاپنین[۷] می‌باشند. تمامی پیکر رویشی گیاه حاوی اسانس است که در صنایع داروسازی از مواد مؤثره آن به‌عنوان ضد سرفه، ضد نفخ و شیرافزا استفاده می‌شود (Lozano, 1998; Veigas, 2007). اسانس رازیانه به دلیل داشتن ویژگی‌های ضد میکروبی و ضد اکسایشی که به علت حضور

۱- دانشجوی دکتری، اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- دانشیار، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: aizady@ut.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.76727.1175

3- Trans-anethole
4- Fenchone
5- Limonene
6- Estragole
7- α-pinene

فلاونوئیدها، ترپنوئیدها، کاروتنوئیدها و کومارین‌هاست، در انواع مواد غذایی و نوشیدنی‌ها به‌عنوان طعم‌دهنده نیز استفاده می‌شود (Singh, Maurya, Lampasona, & Catalan, 2006).

قسمت تجاری گیاه رازیانه دانه آن است که مستقیماً و یا برای اسانس استخراج‌شده از آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان تولید جهانی دانه رازیانه در حدود ۱ میلیون تن در سال است که ایران با تولید حدود ۵٪ این مقدار سومین تولیدکننده بزرگ آن است (FAO, 2012). با توجه به رشد روزافزون تقاضا در بازارهای جهانی برای دانه رازیانه، اصلاح‌گران باید بیش از پیش به این گیاه توجه کنند (Dashora, Sastry, Singh, & Nagda, 2003). بهره‌برداری از هتروزیس به‌عنوان راهکاری برای افزایش عملکرد و تأمین نیاز جمعیت رو به رشد جهان می‌باشد. هتروزیس پدیده‌ای طبیعی است که وابسته به تنوع ژنتیکی بوده و به افزایش بنیه هیبرید نسبت به والدین آن‌ها اطلاق می‌شود (Longin *et al.*, 2012). میزان هتروزیس در گیاهان متداول به‌ویژه در گیاهان دگرگشن بسیار بالا است و بسته به نوع گیاه زراعی افزایش عملکرد در دامنه‌ای بین ۱۰–۵۰ درصد را موجب می‌شود (Adhikari, Ibrahim, Rudd, Baenziger, & Sarazin, 2020). این پدیده در صفات مختلف موفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی اعم از اندازه جثه، سرعت رشد، زیست‌توده گیاه مقاومت به تنش‌ها، باروری، محصول‌دهی و شایستگی جمعیت بروز می‌کند و در بسیاری از محصولات زراعی و دامی مورد توجه قرار گرفته است (Zhang, Wu, Yu, Li, & Pei, 2016). درجه هتروزیس برحسب گونه، فاصله ژنتیکی والدین، مرحله زایشی گیاه، نوع صفت و محیط رشد گیاه متفاوت است. دامنه تغییرات محیطی، شرایط تنش و غیر تنش، تیپ خاک، موقعیت، اقلیم، انرژی خورشیدی، دما و آب قابل‌دسترس روی میزان بروز هتروزیس در گیاهان هیبرید تاثیر می‌گذارد (Fu *et al*., 2014; Blum, 2013; Munaro, Eyhe´rabide, D'Andrea, Cirilo, & Otegui, 2011). استفاده از ارقام اصلاح‌شده گیاهان دارویی در الگوی کشت می‌تواند نقش موثری در دستیابی به مطلوب‌ترین عملکرد و کیفیت ماده موثره داشته باشد، گزارش‌هایی مبنی بر ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی ماده موثره ارقام اصلاح‌شده گیاهان دارویی و مقایسه آن‌ها با توده‌های محلی از لحاظ میزان تحمل تنش‌های غیر زیستی، عملکرد و ویژگی‌های کمی و کیفی ماده موثره وجود دارد که بیانگر توجه روزافزون تولیدکنندگان گیاهان دارویی به ارقام اصلاح‌شده و بررسی امکان جایگزینی توده‌های محلی با این ارقام در الگوی کشت می‌باشد (Rahmati, Azizi, Ebadi, & Hasanzadeh Khayyat, 2010; Farzaneh, Ebadi, Nemati, & Arouiee, 2011; Nobahar, Mostafavi Rad, & Ghazi Pirkouhi, 2014; Akbari, Izadi Darbandi, Bahmani, & Ramshini, 2015; Bahmani, Izadi Darbandi, & Akbari, 2016) رازیانه حالت پروتاندری دارد و دارای گرده‌افشانی آزاد است بنابراین، ماهیت ژنتیکی آن به‌صورت هتروزیگوس– هتروزن است و تکامل این گونه گیاهان به نحوی است که خودگشنی در آن اثر منفی می‌گذارد. روش‌های اصلاحی این گونه گیاهان باید به نحوی باشد که خودگشنی و خلوص در آن‌ها به حداقل برسد و در این راستا می‌توان اقدام به تولید ارقام هیبرید یا سنتتیک کرد (Nemat Zadeh & Kiani, 2005). رقم سینتتیک نسل پیشرفته‌ای از مخلوطی از بذرهای نژادها، کلون‌ها، اینبردها یا هیبریدهای بین آن‌هاست که در طی تعداد محدودی نسل آزاد گرده‌افشانی تکثیر یافته باشد (Arzani, 2008). استفاده از رقم سنتتیک نسبت به روش هیبرید دارای چندین مزیت است مانند عدم نیاز به کنترل دقیق گرده‌افشانی، عملکرد بهتر ارقام سنتتیک در شرایط محیطی متغیر، هزینه پایین تولید بذر سنتتیک و این‌که ارقام سنتتیک به‌عنوان مخزن غنی ژنتیکی هستند (Singh, 1990). اولین مرحله اساسی در تولید ارقام سنتتیک، انتخاب والدین مناسب از بین جمعیت‌های اولیه است. این ارزیابی می‌تواند از طریق ارزیابی خود والدین، نتاج حاصل از خودباروری آن‌ها و یا برآورد قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی حاصل از آزمون پلی‌کراس یا تاپ‌کراس صورت گیرد که متداول‌ترین آن‌ها روش پلی-کراس است (Aastveit & Aastveit, 1990). پس از انتخاب والدین، کلیه تلاقی‌های ممکن بین لاین‌های انتخابی در یک محیط ایزوله صورت می‌گیرد (لاین‌های والدینی تشکیل Syn0 را می‌دهند) مقادیر مساوی از بذور هر تلاقی را با هم مخلوط کرده و تشکیل یک رقم سنتتیک را می‌دهند، جامعه‌ای که از این بذور مخلوط به‌دست می‌آیند را Syn1 می‌نامند و نتاج حاصل از آزاد گرده‌افشانی Syn1 را اصطلاحاً Syn2 نامند، همچنین از Syn2 نسل Syn3 به‌دست می‌آید باید توجه داشت که عملکرد Syn2 از Syn1 کمتر و نیز عملکرد Syn3 از Syn2 کمتر خواهد بود (Nemat Zadeh & Kiani, 2005). نسل اول رقم به‌دست‌آمده (Syn1) دارای بیشترین هتروزیس است و نسل‌های بعدی به علت پسروی ناشی از خویش‌آمیزی، هتروزیس کمتری دارند، البته شدت این پسروی به اندازه ارقام هیبرید نیست و از سویی دیگر تولید مجدد ارقام سنتتیک هزینه‌بر نیست. روش تولید رقم سنتتیک در گیاهان مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشتر ارقام معرفی‌شده یونجه در ۳۰ سال گذشته سنتتیک بوده به طوری که می‌توانند به‌عنوان جمعیتی هتروژن از افراد هتروزیگوت در نظر گرفته شوند این ناهمگنی موجب بهبود عملکرد و پایداری این جمعیت‌ها می‌شود (Hanson, 1988). ارقام آپکس و واشو یونجه ارقامی هستند که به روش پلی‌کراس تولید شده‌اند (Petkova. & Mirchev, 1994).

آماتو و همکاران (Amato, Stringia, & Glamal, 1997) از روش پلی‌کراس برای ایجاد ارقام سنتتیک در ماش (*Hedysarum coronarium* L.) استفاده کردند.

موفقیت در انتخاب بستگی به اثر ژن و وراثت‌پذیری صفات دارد و دانستن میزان توارث‌پذیری یک صفت به محقق در اصلاح یک رقم کمک شایانی خواهد نمود. وراثت‌پذیری نه تنها خصوصیت یک صفت، بلکه خصوصیت یک اجتماع، خصوصیت شرایط محیطی که افراد در معرض آن قرار دارند و خصوصیت روشی که توسط آن فنوتیپ محاسبه می‌گردد، محسوب می‌شود. وراثت‌پذیری‌ها در ارتباط با نوع صفت تفاوت زیادی با هم دارند. به‌طور کلی صفات با کمترین وراثت‌پذیری آن‌هایی هستند که نزدیک‌ترین ارتباط را با شایستگی تولید مثلی دارند. در حالی‌که صفات با بالاترین وراثت‌پذیری آن‌هایی هستند که ممکن است براساس زمینه‌های بیولوژیکی در تعیین شایستگی طبیعی کم‌اهمیت‌ترین به حساب آیند (Farshadfar, 2005). صفات با وراثت‌پذیری بالا بیشتر تحت کنترل اثرات ژنتیکی افزایشی ژن‌ها می‌باشد و از طرف دیگر مقدار کم وراثت‌پذیری در برخی صفات بیانگر نقش کم تنوع ژنتیکی افزایشی و یا انعطاف‌پذیری فنوتیپی آن صفت می‌باشد (Farsi & Bagheri, 2006).

مقصودی کلاردشتی و همکاران (Maghsudi Kelardashti, Rahimmalek, Sabzalian, & Talebi, 2014) در بررسی تنوع ژنتیکی و روابط بین صفات زراعی در ۱۵ توده رازیانه، تنوع ژنتیکی بالایی را گزارش کردند. آنان همچنین وراثت‌پذیری متوسط تا بالای ۹۰٪ را برای تمام صفات بررسی‌شده به استثنای تعداد روز تا ۵۰٪ سبز شدن گزارش کردند. رازیانه‌های ایرانی از لحاظ صفات اگرومورفولوژی (Bahmani, Izadi Darbandi, Ramshini, Moradi, & Akbari, 2015)، ژنتیکی (Bahmani, Izadi-Darbandi, Jafari, Sadat Noori, & Farajpour, 2012; Bahmani, Izadi-Darbandi, Sadat Noori, & Jaari, 2013)، سیتوژنتیکی (Sheidai, Kalhor Home, & Poorneydanei, 2007) و فیتوشیمیایی (Bahmani, Izadi Darbandi, & Sadat Noori, 2014) تنوع قابل‌ملاحظه‌ای دارند و در این میان ژنوتیپ‌های با ارزشی جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی شناسایی شده است. متوسط عملکرد دانه اکوتیپ‌های زودرس، میان‌رس و دیررس رازیانه‌های ایرانی در شرایط آبیاری معمول به‌ترتیب برابر با ۲۵۴، ۱۴۶ و ۱۹۰ گرم در متر مربع است (Bahmani *et al.*, 2015).

این تحقیق بخشی از یک برنامه اصلاحی گیاه دارویی رازیانه است که با در نظر گرفتن مطالعات مقایسه‌ای، درخصوص عملکرد، اجزای عملکرد و میزان هتروزیس در ارقام اصلاح‌شده رازیانه شامل سه رقم سینتتیک زودرس، سینتتیک میان‌رس، سینتتیک دیررس و والدین برتر سعی شد ارزیابی کلی از ارقام اصلاح‌شده و ژنوتیپ‌ها با استفاده از میانگین صفات، آنالیز واریانس و میزان وراثت‌پذیری صفات صورت گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت استان تهران اجرا شد. شرایط اقلیمی مکان آزمایش در جدول ۱ آمده است.

مواد گیاهی: مواد گیاهی استفاده شده در این تحقیق سه رقم اصلاح‌شده سینتتیک و هشت اکوتیپ والدی شامل رقم سنتتیک زودرس و دو اکوتیپ والدی آن (فسا و هشتگرد)، رقم سنتتیک میان‌رس و چهار اکوتیپ والدی آن (مشکین‌شهر، مغان، خاش و فزوه) و رقم سنتتیک دیررس و دو اکوتیپ والدی آن (حاجی آباد و چاهستان) بودند (جدول ۲).

طرح اجرایی: طرح مورد استفاده در این مطالعه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. کاشت ژنوتیپ‌ها (شامل ارقام سنتتیک و ژنوتیپ‌های برتر والدینی) در هر تکرار در یک کرت ۱/۵ در ۲ متری صورت گرفت، که فاصله ردیف‌ها از هم ۳۰ سانتی‌متر منظور شد و بذور با عمق کاشت ۳-۲ سانتی‌متر در اسفند ماه سال ۱۳۹۷ کشت شدند. تراکم بوته‌ها از طریق تنک کردن به‌صورتی که تراکم نهایی ۱۰ بوته در یک متر مربع باشد رسید (Khorshidi, Fazel Mirahmadi, & Fakhr Tabatabaei, 2010).

جدول ۱- شرایط اقلیمی مکان آزمایش

Table 1- The climatic conditions of experimental site

پاکدشت Pakdasht	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Fall
میانگین بارندگی Average precipitation (mm)	35.6	4.5	61.8
میانگین دما Average temperature (˚C)	19.5	30.3	10.6

جدول ۲- ژنوتیپ‌های رازیانه مورداستفاده در آزمایش

Table 2- Fennel genotypes used in the experiment

ارقام سینتتیک Synthetic cultivars	والدین ارقام سینتتیک Parents of synthetic cultivars	ژنوتیپ Genotype	ارتفاع Altitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude
رقم سینتتیک زودرس Early maturity synthetic	والدین رقم سینتتیک زودرس Parents of Early maturity synthetic	فسا Fasa	1288	28 58 N	53 41 E
		هشتگرد Hashtgerd	1426	35 65 N	50 43 E
رقم سینتتیک میان‌رس Medium maturity synthetic	والدین رقم سینتتیک میان‌رس Parents of Medium maturity synthetic	مغان Moghan	31	39 39 N	47 55 E
		Meshkinshahr مشکین‌شهر	1568	38 23 N	47 40 E
		فزوه Fozveh	1612	32 36 N	51 26 E
		خاش Khash	1394	28 13 N	61 12 E
رقم سینتتیک دیررس Late maturity synthetic	والدین رقم سینتتیک دیررس Parents of Late maturity synthetic	حاجی‌آباد Hajiabad	931	28 19 N	55 55 E
		چاهستان Chahestan	27	27 13 N	56 22 E

صفات مختلف مورفولوژیکی شامل تعداد گره، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، تعداد چترک در چتر، وزن هزار دانه، وزن خشک بوته، وزن دانه در بوته و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، در زمان رسیدگی کامل با رعایت اثر حاشیه عملکرد کل بوته‌های هر کرت برداشت و برحسب گرم در متر مربع گزارش شد. بعد از برداشت به‌منظور استخراج اسانس از دستگاه کلونجر به روش تقطیر آبی بذور آسیاب‌شده استفاده شد، مرحله اسانس‌گیری برای هر نمونه (۲۰ گرم) به مدت ۲ ساعت طول کشید (Akbari, Izadi Darbandi, Bahmani, & Ramshin, 2016)، سپس اسانس‌های جمع‌آوری‌شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در ظرف‌های مخصوص نگهداری شدند. پس از تعیین محتوی اسانس، عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و محتوی اسانس محاسبه شد.

آنالیزهای آماری: برآورد هتروزیس (۱) در ارقام سینتتیک مورد مطالعه از طریق هتروزیس براساس میانگین والدین (MPH) مطابق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$MPH=(Syn-MP)/MP*100 \quad (۱)$$

Syn: عملکرد رقم سینتتیک، MP: میانگین عملکرد والدین می‌باشد.

پس از انجام تجزیه واریانس برآورد ضریب تغییرات فنوتیپی (۵)، ضریب تغییرات ژنتیکی (۴) و وراثت‌پذیری عمومی (۶) با استفاده از روابط (۲) تا (۶) برآورد شد (Farshadfar, 2005).

$$\sigma^2_g = MSG - MSE/r \ldots \quad (۲)$$

$$\sigma^2_p=\sigma^2_g - MSE/r \quad (۳)$$

$$CVG=\sqrt{\sigma^2_g} / \bar{x}.. \quad (۴)$$

$$CVP=\sqrt{\sigma 2p}/\bar{x}.. \quad (۵)$$

$$H2=\sigma 2g/\sigma 2p \quad (۶)$$

در روابط بالا σ_ε^2 واریانس اشتباه آزمایشی، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی (۲)، σ_p^2 واریانس فنوتیپی (۳)، h^2 وراثت‌پذیری عمومی، MS_ε مجموع مربعات اشتباه آزمایشی، MS_g مجموع مربعات ژنوتیپ‌ها، r تعداد تکرار در آزمایش، CVG ضریب تغییرات ژنتیکی و CVP ضریب تغییرات فنوتیپی می‌باشد که براساس امید ریاضی منابع تغییرات محاسبه شد. به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات، تجزیه خوشه‌ای انجام شد. این تجزیه به روش Ward به علت به‌کارگیری واریانس داده‌ها و با استفاده از ضریب فاصله اقلیدوسی انجام گردید. به منظور کاهش حجم داده‌ها و تعبیر و تفسیر بهتر آن‌ها تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Excel، SAS ver.9. 4 و Statgraphics ver.19 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برای تمامی صفات اندازه‌گیری‌شده نشان داد که ژنوتیپ‌ها با هم اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۳). همچنین میانگین مربعات والدین در برابر ارقام سینتتیک برای اغلب صفات معنی‌دار بود، که نشان از بروز هتروزیس معنی‌دار در صفات مورد مطالعه داشت (جدول ۳). مین و همکاران (Meena, Kakani, Anwer, & Panwar, 2010) با مطالعه تنوع ژنتیکی در رازیانه برای عملکرد و اجزای عملکرد، تنوع قابل‌ملاحظه‌ای را بین اکوتیپ‌های مورد بررسی گزارش کردند. نتایج صفائی و همکاران

(Safaei, Afiuni, & Zeinali, 2013) در ۱۲ اکوتیپ رازیانه نشان‌دهنده تنوع وسع این صفات بود، همچنین کومار و همکاران (Kumar, Meena, Verma, Ameta, & Panwar, 2017) گزارش دادند که پارامترهای مورفولوژیکی و عملکرد در ژرم‌پلاسم‌های رازیانه متنوع است. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد (جدول ۴) که بیشترین عملکرد دانه متعلق به ارقام سنتتیک میان‌رس و سنتتیک دیررس به مقدار ۲۶۶/۶۸ و ۲۶۰/۵۹ گرم در متر مربع بود و کمترین عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ دیررس والدی چاهستان به مقدار ۱۲۳/۱۱ گرم در متر مربع بود. بالا یا پایین بودن عملکرد را می‌توان به ژنوتیپ و متغیر بودن اجزای عملکرد در آن‌ها و همچنین واکنش متفاوت نسبت به شرایط محیطی مرتبط دانست. بهمنی و همکاران (Bahmani *et al.*, 2015) متوسط عملکرد دانه اکوتیپ‌های رازیانه ایرانی را از ۱۴۶ تا ۲۵۴ گرم در متر مربع متغیرگزارش کردند. ژنوتیپ‌های فزوه، مغان و رقم سنتتیک زودرس از درصد اسانس بالایی برخوردار بودند. کمترین درصد اسانس نیز در ژنوتیپ حاجی‌آباد ۱/۷ درصد به‌دست آمد. در تحقیق کاسگو و همکاران (Cosge, Kiralan, & Gurbuz, 2008) درصد اسانس در ۲۰ ژنوتیپ رازیانه از ۱/۳۰٪ تا ۵/۳۸ درصد متغیر گزارش شده است. از نظر عملکرد اسانس ارقام سنتتیک میان‌رس، سنتتیک دیررس و ژنوتیپ فزوه (۵/۰۲، ۴/۶۰ و ۴/۵۲) به‌ترتیب دارای بالاترین عملکرد اسانس بودند و کمترین میزان را ژنوتیپ چاهستان با عملکرد اسانس ۲/۵۲ داشت. خاماسی و همکاران (Khammassi & Loupassaki, 2018) در تحقیقی عملکرد اسانس ۱۶ توده رازیانه از کشور تونس را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که عملکرد اسانس بین ۱/۲ تا ۵/۰۶ متغیر می‌باشد. در بین ژنوتی‌ها ارقام سنتتیک دیررس، میان‌رس و ژنوتیپ حاجی آباد بیشترین تعداد چتر را داشتند، بالاترین تعداد دانه در چتر نیز در رقم سنتتیک میان‌رس مشاهده گردید. همچنین رقم سنتتیک میان‌رس با دارا بودن بیشترین میزان تعداد چترک در چتر و تعداد دانه در چتر زیاد، عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت. رقم سنتتیک زودرس با میانگین ۴۲/۰۷ گرم بیشترین و ژنوتیپ چاهستان با میانگین۱۶/۶۴ گرم کمترین میزان وزن دانه در بوته را دارا بودند. کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2017) گزارش دادند که پارامترهای مورفولوژیکی و عملکرد در ژرم‌پلاسم‌های رازیانه متفاوت است به طوری‌که ارتفاع بوته بین ۱۶۰–۲۰۱/۸۰ سانتی‌متر، تعداد شاخه جانبی در محدوده ۶–۹/۴، تعداد چترها از ۲۸/۲ تا ۵۸/۴ و عملکرد دانه در بوته از ۲۲/۵ تا ۳۵/۶ گرم متغیر می‌باشد. همچنین سیت و همکاران (Seet, Pandey, Singh, & Pattnaik, 2020) تنوع ژنتیکی ۶۰ جمعیت رازیانه را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۹۲/۰۳ –۱۱۱/۰۳ روز)، ارتفاع بوته (۱۲۶/۷۹– ۱۸۲/۶۵ سانتی‌متر)، تعداد شاخه در بوته (۵/۳۵–۱۱/۲۸)، تعداد چتر در بوته (۴۱/۷۸–۱۱۲/۹۰)، تعداد چترک در هر چتر (۱۹/۶۹–۳۶/۸۰)، روز تا رسیدگی (۲۱۹/۹۴–۲۳۳/۷۹ روز)، وزن ۱۰۰۰دانه (۲۹/۵۳–۵۸/۸۰گرم) متغیر می‌باشند.

میزان هتروزیس برآوردشده در بین ارقام سنتتیک براساس میانگین والدین (جدول ۵) نشان داد که برای صفت عملکرد، هتروزیس از محدوده ۳۱/۲۵ تا ۳۹/۱۵ درصد متغیر بودند. کمترین و بیشترین مقدار هتروزیس در رقم سینتتیک زودرس و رقم سینتتیک میان‌رس مشاهده گردید. عملکرد اسانس برای ارقام سنتتیک مختلف مقادیر متفاوت هتروزیس را نشان داد (جدول ۵) صفت عملکرد اسانس در ارقام سینتتیک مورد مطالعه به میزان ۳۳/۱۲ درصد نسبت به مقدار این صفت در میانگین والدها افزایش داشت. رقم سینتتیک دیررس با ۴۱/۳۲ درصد بیشترین افزایش در عملکرد اسانس را نسبت به میانگین والدین از خود نشان داد. برای صفت تعداد چتر در بوته هتروزیس نسبت به میانگین والدین برای کل ارقام سینتتیک ۲۲/۱۷ درصد مشاهده شد (جدول ۵). رقم سینتتیک دیررس بیشترین تعداد چتر در بوته را نسبت به میانگین والدین با مقدار ۴۴/۲۸ درصد دارا بود. برای صفت درصد اسانس مقادیر متفاوت هتروزیس در ارقام سینتتک مشاهده شد (جدول ۵). متوسط هتروزیس برای این صفت نسبت به میانگین والدین ۰/۴۴ درصد بود رقم سینتتیک زودرس با ۳/۷۷ درصد افزایش بیشترین میزان هتروزیس را دارا بود و رقم سینتتیک میان‌رس با ۳/۹ درصد کاهش نسبت به میانگین والدین کمترین میزان هتروزیس را دارا بود. در صفت تعداد دانه در چتر این صفت در ارقام سینتتیک به میزان ۲۸/۰۶ در ارقام سینتتیک مورد مطالعه نسبت به میانگین والدین افزایش داشت. بیشترین میزان هتروزیس را رقم سینتتک دیررس با ۴۷/۷۴ درصد نشان داد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

به‌منظور گروه‌بندی صفات، تعیین میزان اهمیت و ارتباط هریک از آن‌ها در ایجاد تغییرات کل داده‌ها، همچنین تعیین اهمیت متغیرهایی که در گروهها نقش داشتند، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. نتایج این تجزیه بر اساس ۱۱ صفت مهم ارزیابی شد. با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (جدول ۶) ملاحظه می‌شود که ۴ مؤلفه مقادیر ویژه بیشتر از یک دارند و در تشکیل ضرایب شرکت کرده‌اند. این مؤلفه در مجموع بیش از ۹۰ درصد از واریانس کل متغیرها را توجیه می‌نمایند.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) و مقایسات مستقل صفات مختلف ژنوتیپ‌های رازیانه

Table 3- Summary of ANOVA (mean squares) for agro-morphological traits in fennel genotypes

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	تعداد چتر در بوته No. umbel/plant	تعداد گره در شاخه اصلی Number of nodes/main brache	تعداد چترک در چتر اصلی No. umbellets /main umbel	تعداد دانه در چتر اصلی No. seed / main umbel	شاخص برداشت Harvest index	وزن دانه در بوته Weight of Seed / plant	بیومس بوته Plant biomass	وزن هزار دانه 1000 seed weigh	محتوی اسانس Essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield	عملکرد دانه در متر مربع Seed Yield (g.m^{-2})
Rep تکرار	2	39.39^{ns}	6.62**	0.43^{ns}	115.72^{ns}	0.010	6.35^{ns}	285.93^{ns}	0.17*	0.13*	0.03^{ns}	361.21^{ns}
Genotype ژنوتیپ	11	958.34**	2.08*	83.24**	27872.64**	0.017	158.89**	787.13**	0.32**	0.086**	2.26**	5992.58**
والدین در برابر سینتتک زودرس Parents vs. Early maturity synthetic	1	2.73^{ns}	0.82^{ns}	0.50^{ns}	7564.50**	0.00	765.32**	2635.86**	0.07^{ns}	0.01^{ns}	1.87**	3513.46**
والدین در برابر سینتتک میان‌رس Parents vs. Medium maturity synthetic	1	3024.60**	5.00**	8.82^{ns}	14593.80**	0.00	84.14^{ns}	161.80^{ns}	0.55**	0.01^{ns}	3.85**	13512.60**
والدین در برابر سینتتک دیررس Parents vs. Late maturity synthetic	1	800.00**	1.21^{ns}	135.19**	39762.00**	0.01	74.91^{ns}	1962.30**	0.36*	0.00^{ns}	3.63**	8244.99**
خطا Error	20	104.16	0.37	2.34	958.64	0.004	20.77	180.51	0.04	0.032	0.09	132.40
میانگین Mean	-	87.64	9.85	21.23	393.68	0.46	20.88	56.08	3.42	1.97	3.65	185.51
ضریب تغییرات CV (%)	-	11.6	6.1	7.2	7.9	14.0	18.3	24.0	5.8	6.7	8.4	6.2

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

*, ** Significant at 0.05 and 0.01 P levels, respectively and ns = non-significant.

جدول ٤- مقایسه میانگین برای صفات مختلف در ژنوتیپ‌های رازیانه

Table 4- Means comparison of measured agro-morphological traits in the studied fennel genotypes

ژنوتیپ Genotype	تعداد چتر در بوته No. umbel/plant	تعداد گره در شاخه اصلی Number of nodes/main brache	تعداد چترک در چتر اصلی No. umbellets /main umbel	تعداد دانه در چتر اصلی No. seed / main umbel	شاخص برداشت Harvest index	وزن دانه در بوته Weight of Seed / plant	بیومس بوته Plant biomass (gr)	وزن هزار دانه 1000 seed Weight (gr)	محتوی اسانس essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield ($cm^3.m^{-2}$)	عملکرد دانه در متر مربع Seed Yield ($g.m^{-2}$)
فسا Fasa	66.67c	7.78e	19.22b	316.00e	0.57a	25.63bc	44.79c	3.35cd	1.95abc	2.69c	134.62e
مغان Moghan	88.22b	9.44 d	26.67a	446.83bc	0.46abcd	25.33bc	54.30bc	3.44abcd	2.04abc	3.65 b	179.01d
مشکین‌شهر Meshkinshahr	69.33bc	10.67bc	21.33b	421.17bc	0.46abcd	25.60bc	55.85bc	3.35bcd	1.70c	2.88c	169.98d
فزوه Fozveh	80.22bc	10.22cd	26.67a	458.67ab	0.48abc	21.81bcd	55.85c	3.14d	2.08a	4.52a	217.21bc
حاجی‌آباد Hajiabad	106.78a	12.33a	13.78c	441.33bc	0.31de	26.16bc	89.54a	3.72ab	1.70c	3.98b	209.48c
هشتگرد Hashtgerd	77.00gc	7.61e	19.11b	353.00ed	0.49abc	19.39cd	40.28c	3.59abc	1.95abc	2.69c	127.83f
Early maturity synthetic رقم سینتتیک زودرس	77.00bc	8.33e	18.67b	396.00cd	0.54ab	42.07a	78.84ab	3.66abc	2.01abc	3.64b	161.58d
Medium maturity synthetic رقم سینتتیک میان‌رس	115.67a	11.44ab	27.33a	510.08a	0.48ab	30.46b	62.32bc	3.78a	1.76bc	5.02a	266.68a
Late maturity synthetic رقم سینتتیک دیررس	117.00a	10.56bcd	21.33b	436.33bc	0.41cde	26.28bc	37.17a	3.60abc	1.80bc	4.60a	260.59 b
خاش Khash	82.89bc	9.67cd	27.00a	401.75bcd	0.41cde	25.40bc	60.82bc	3.30cd	1.90abc	3.93b	199.53c
چاهستان Chahestan	87.22b	10.33bcd	12.44c	149.33f	0.35de	16.64d	47.44c	2.64e	2.0ab	2.53c	123.11e

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

In each character, landraces with one common letter at least are not significantly different at the 5% level.

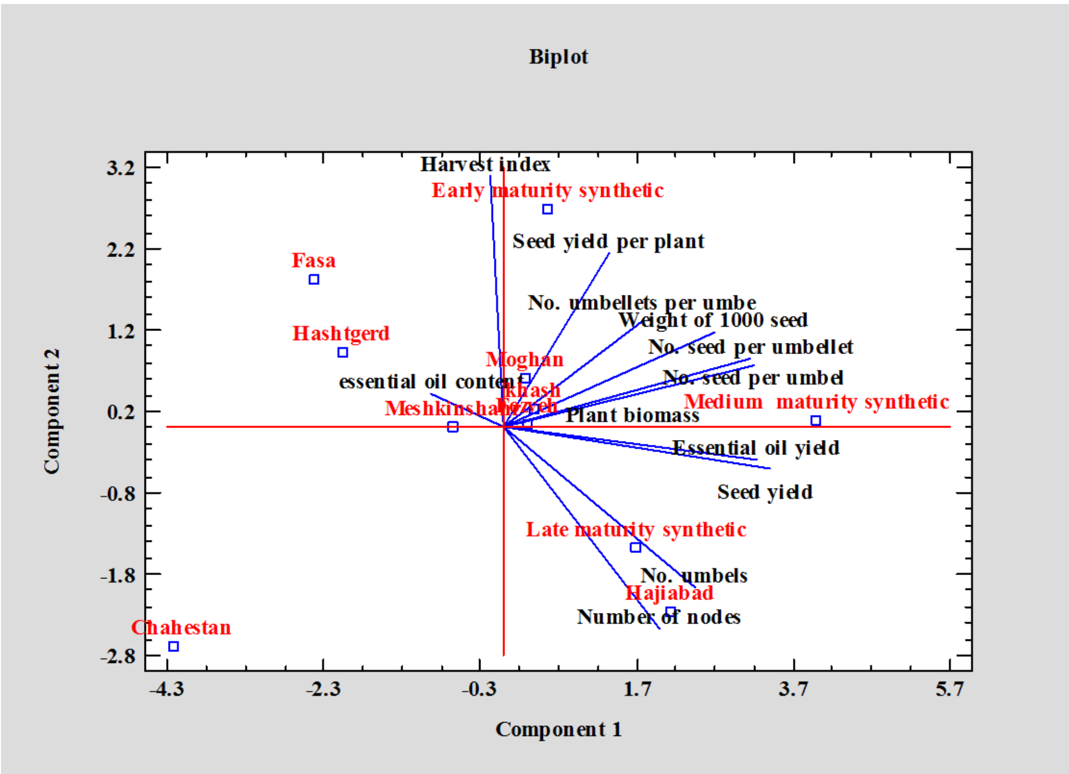
جدول ۵- میانگین و میزان هتروزیس صفات مختلف در ژنوتیپ‌های رازیانه
Table 5- Mean and percentage of heterosis of different traits in fennel genotypes

	تعداد چتر در بوته No. umbel/plant	تعداد گره در شاخه اصلی Number of nodes/main brache	تعداد چترک در چتر اصلی No. umbellets /main umbel	تعداد دانه در چتر اصلی No. seed / main umbel	شاخص برداشت Harvest index	وزن دانه در بوته Weight of Seed/plant	بیومس بوته Plant biomass (g)	وزن هزار دانه 1000 seed weight(g	محتوی اسانس essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield ($cm^3.m^{-2}$)	عملکرد دانه در متر مربع Seed Yield ($g.m^{-2}$)
سینتتیک زودرس Early maturity synthetic	73.00	8.33	18.67	396.00	0.54	42.07	78.84	3.66	2.07	3.64	176.02
Parents والدین	71.83	7.69	19.17	334.50	0.53	22.51	42.54	3.47	1.99	2.67	134.11
heterosis هتروزیس	1.62	8.30	-2.61	18.39	2.61	86.91	85.35	5.57	3.77	36.21	31.25
سینتتیک میان‌رس Medium maturity synthetic	115.67	11.44	27.33	510.08	0.49	30.46	62.32	3.78	1.88	5.02	266.68
Parents والدین	80.17	10.00	25.42	432.10	0.46	24.54	54.11	3.31	1.95	3.75	191.64
heterosis هتروزیس	44.28	14.44	7.54	18.05	6.47	24.13	15.17	14.42	-3.29	33.84	39.15
سینتتیک دیررس Late maturity synthetic	117.00	10.56	21.33	436.33	0.41	15.28	37.17	3.60	2.00	4.60	230.50
Parents والدین	97.00	11.33	13.11	295.33	0.33	21.39	68.49	3.18	1.98	3.26	166.29
heterosis هتروزیس	20.62	-6.86	62.71	47.74	25.84	-28.59	-45.73	13.27	0.84	41.32	38.61

جدول ٦- بار مولفه‌های صفات ارزیابی‌شده به همراه تجمعی مولفه‌های اصلی در ژنوتیپ‌های رازیانه

Table 6- Component loading of the studied traits together with a cumulative variance of the principal components of the fennel genotypes

Components	مولفه‌ها	1	2	3	4
Eigen values	مقادیر ویژه	5.24	2.64	1.83	1.12
Cumulative variance (%)	واریانس تجمعی	43.68	65.66	80.95	90.32
Traits	صفات	بردار ویژه Eigen vector			
No. seed/ main umbel	تعداد دانه در چتر اصلی	0.39	0.14	0.11	-0.21
No. umbel/plant	تعداد چتر در بوته	0.30	-0.36	0.11	0.24
Number of nodes/main branch	تعداد گره در شاخه اصلی	0.24	-0.46	-0.11	-0.21
No. umbellets/ main umbel	تعداد چترک در چتر اصلی	0.21	0.24	0.47	-0.24
essential oil content (%)	محتوی اسانس (٪)	-0.11	0.08	0.24	0.82
Weight of 1000 seed (g)	وزن هزار دانه	0.33	0.22	-0.16	0.04
Seed yield (g.m^{-2})	عملکرد دانه در متر مربع	0.41	-0.09	0.17	-0.02
Essential oil yield (cm^3.m^{-2})	عملکرد اسانس	0.39	-0.07	0.24	0.16
Weight of Seed / plant	وزن دانه در بوته	0.16	0.40	-0.41	0.08
Plant biomass (g)	بیوماس بوته	0.20	0.00	-0.60	0.10
Harvest index	شاخص برداشت	-0.02	0.57	0.17	-0.10



شکل ۱- نمودار دوبعدی براساس دو مولفه اول و دوم تجزیه به مولفه‌های اصلی روی صفات مورد مطالعه جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های رازیانه

Figure 1- Bi-plot based on the first and second components of principal components on the studied traits to group fennel genotypes

سهم هریک از مولفه‌ها در توجیه تغییرات به‌ترتیب ۴۳/۶۸، ۲۱/۹۸، ۱۵/۲۸ و ۹/۳۷ درصد بود. در مطالعه صفائی و همکاران (Safaei, Zainali, & Afioni, 2011) در بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های رازیانه، با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی گزارش کردند که چهار مؤلفه اول در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ۸۵ درصد از کل واریانس متغیرها را توجیه کردند. در مولفه اول عملکرد دانه، عملکرد اسانس و صفات وابسته به آن از ضرایب مثبت و بالا برخوردار بودند. در مولفه دوم شاخص برداشت و وزن دانه در بوته دارای ضرایب مثبت و بالایی بودند. در مولفه سوم تعداد چترک در چتر دارای ضریب مثبت و بالایی بود و در عامل چهارم محتوی اسانس بالاترین ضریب مثبت را داشت. به‌منظور تعیین پراکنش ژنوتیپ‌ها از نمودار دوبعدی حاصل از مولفه‌های اصلی به همراه صفات مورد مطالعه استفاده شد (شکل ۱). نتایج نشان داد که ارقام سینتتیک میان‌رس، سینتتیک دیررس به همراه ژنوتیپ حاجی‌آباد در یک گروه قرار گرفتند این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مرتبط با عملکرد نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند.

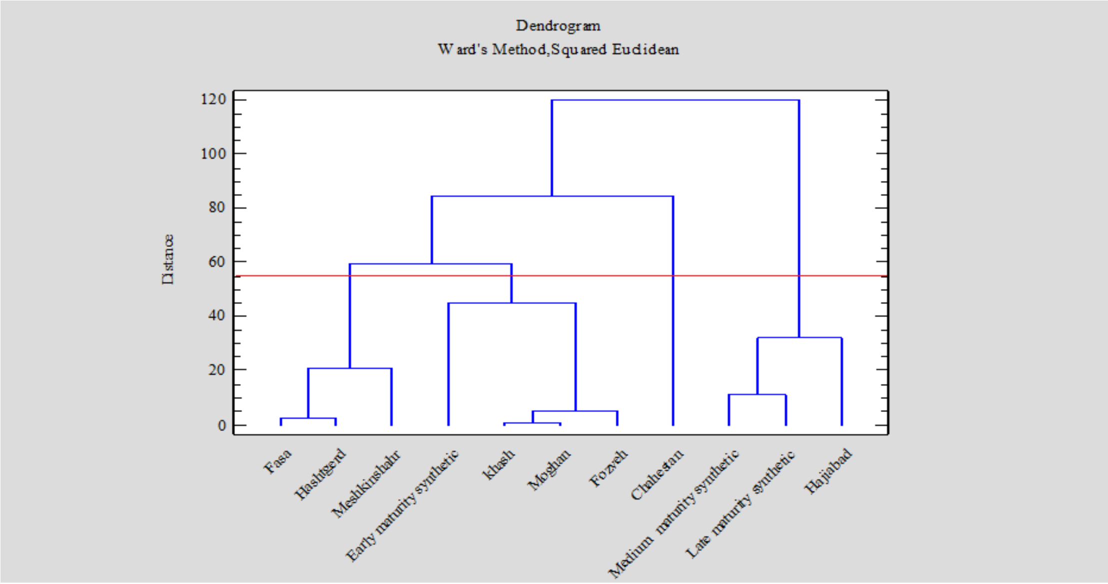
تجزیه خوشه‌ای

به‌منظور اندازه‌گیری و تعیین فواصل ژنتیکی ارقام سینتتیک و والدین مورد بررسی و گروه‌بندی آن‌ها تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) انجام شد با برش دندروگرام ارقام سینتتیک و والدین در چهار گروه قرار گرفتند (شکل ۲)، همچنین مقصودی و همکاران (Maghsoudi *et al.*, 2011) بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ۱۵ توده رازیانه بررسی شده را در ۴ دسته قرار دادند و اختلاف معنی‌داری را به‌ویژه در عملکرد بذر، زمان رسیدگی و ارتفاع گیاه در بین خوشه‌ها گزارش کردند. مشخصات هر یک از خوشه‌ها در جدول ۷ آمده است؛ خوشه اول شامل ارقام سینتتیک میان‌رس، سینتتیک دیررس و ژنوتیپ حاجی‌آباد بوده که دارای بالاترین عملکرد دانه (بیش از ۲۳۵ گرم در متر مربع)، تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر بوده‌اند. گروه دوم نیز شامل ژنوتیپ چاهستان بود که دارای کمترین مقدار عملکرد دانه و کمترین میزان اجزای عملکرد بود. همچنین رقم سینتتیک زودرس به همراه ژنوتیپ‌های مغان، خاش و فزوه در گروه سوم که بزرگ‌ترین خوشه را تشکیل دادند از نظر پارامترهای عملکرد از گروه اول کمتر بودند. گروه چهارم هم شامل ژنوتیپ مشکین‌شهر، فسا و هشتگرد بود.

جدول ۷- میانگین و درصد انحراف از میانگین کل هر گروه از ژنوتیپ‌های رازیانه در تجزیه خوشه‌ای

Table 7- Mean and percentage of deviation from the total mean of each groups from fennel genotypes

خوشه‌ها	Clusters	خوشه ۱ Cluster1		خوشه ۲ Cluster 2		خوشه ۳ Cluster 3		خوشه ٤ Cluster 4	
Traits	صفات	میانگین Mean	انحراف از میانگین Deviation from the mean	میانگین Mean	انحراف از میانگین Deviation from the mean	میانگین Mean	انحراف از میانگین Deviation from the mean	میانگین Mean	انحراف از میانگین Deviation from the mean
No. seed/ main umbel	تعداد دانه در چتر اصلی	462.58	17.50	149.33	-62.07	425.81	8.16	363.39	-7.69
No. umbel/plant	تعداد چتر در بوته	113.15	29.11	87.22	-0.47	81.08	-7.48	71.00	-18.98
Number of nodes/main branch	تعداد گره در شاخه اصلی	11.44	16.15	10.33	4.87	9.42	-4.43	8.69	-11.86
No. umbellets/ main umbel	تعداد چترک در چتر اصلی	20.81	-1.97	12.44	-41.39	24.75	16.57	19.89	-6.33
essential oil content (%)	محتوی اسانس (٪)	1.93	-2.24	2.06	4.52	2.04	3.46	1.89	-3.88
Weight of 1000 seed (g)	وزن هزار دانه	3.70	8.36	2.64	-22.80	3.39	-0.89	3.43	0.43
Seed yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد دانه در متر مربع	235.55	26.98	123.11	-33.64	193.23	4.16	145.96	-21.32
Essential oil yield ($cm^3.m^{-2}$)	عملکرد اسانس	4.53	24.35	2.53	-30.50	3.94	8.02	2.74	-24.88
Weight of Seed / plant	وزن دانه در بوته	23.96	-3.72	16.63	-33.17	28.65	15.14	23.54	-5.41
Plant biomass (g)	بیوس بوته	63.01	12.36	47.44	-15.39	59.86	6.75	46.97	-16.23
Harvest index	شاخص برداشت	40.51	-11.23	34.95	-23.42	48.29	5.81	50.79	11.29



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ۱۱ژنوتیپ رازیانه بر اساس صفات مورد مطالعه

Figure 2- The dendrogram of cluster Analysis of 11 fennel genotypes basis on studied traits

برآورد توارث‌پذیری عمومی

در بین صفات مورد مطالعه صفت وزن خشک بوته با مقدار ۳۹/۱۵ و ۳۲/۵۰ و صفت عملکرد دانه در بوته با مقدار ۳۴/۸۸ و ۲۵/۳۵ و به‌ترتیب دارای بیشترین مقادیر ضریب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی در مقایسه با سایر صفات مورد مطالعه بودند (جدول ۸). پتال و همکاران (Patel, Patel, & Patel, 2008) با مطالعه ۳۶ ژنوتیپ رازیانه را براساس ۱۵ صفت مورد ارزیابی تنوع قرار دادند که تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی بالایی را برای روز تا ۵۰٪ گلدهی، روز تا ۵۰٪ رسیدگی، ارتفاع گیاه، ارتفاع گیاه تا چتر اصلی، تعداد کل ساقه در گیاه، تعداد دانه در چتر اصلی و تعداد دانه در گیاه گزارش کردند. یاداو و همکاران (Yadav, Pandey, & Yadav, 2013) با مطالعه تنوع ژنتیکی در رازیانه نتیجه گرفتند که بهبود صفاتی مثل ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر اصلی، تعداد روز تا ۵۰٪ گلدهی و وزن دانه در چتر اصلی در بهبود مستقیم و غیرمستقیم عملکرد دانه می‌تواند مؤثر باشد. در تمامی صفات مورد بررسی ضریب تغییرات فنوتیپی از ضریب تغییرات ژنتیکی بیشتر بود ولی در بسیاری از حالات این دو تفاوت کمی داشتند، که نشان‌دهنده تأثیر عوامل محیطی بر بیان صفات بوده است. برآورد توارث‌پذیری عمومی در دامنه ۳۶ تا ۹۳/۶۵ به‌ترتیب برای صفت درصد اسانس و عملکرد دانه قرار داشت. اگر وراثت‌پذیری یک صفت بالا باشد (بیش از ۶۰٪)، انتخاب برای چنین صفتی باید نسبتاً آسان باشد، که این به دلیل نزدیک بودن میزان تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی و سهم نسبتاً کمتر محیط در فنوتیپ است، اما برای صفتی با وراثت‌پذیری پایین، انتخاب ممکن است به‌طور قابل‌توجهی دشوار یا عملاً غیرعملی باشد. بیشترین وراثت‌پذیری برای صفات تعداد دانه در چتر اصلی (۹۰/۳۵) تعداد چتر در بوته (۷۳/۲۲)، تعداد چترک در چتر (۹۲/۰۲)، تعداد گره (۸۴/۹۲)، عملکرد اسانس (۸۸/۳۳) و عملکرد دانه (۹۳/۶۵) بود. در حالی‌که کمترین میزان وراثت‌پذیری مربوط به صفت محتوی اسانس (۳۶) بود. با توجه به وراثت‌پذیری بالا در صفاتی مانند تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر اصلی و تعداد دانه در چتر و نظر به این‌که اجزای عملکرد کمتر از خود عملکرد تحت تأثیر عوامل محیطی می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که تنوع مشاهده شده بیشتر متأثر از عوامل ژنتیکی ژنوتیپ‌ها می‌باشد و این نشان‌دهنده تأثیر کم عوامل محیطی روی صفات یادشده است. آگنیهورتی و همکاران (Agnihotri, Dashora, & Sharma, 1997) و راجپوت و همکاران (Rajput *et al.*, 2004) بالاترین وراثت‌پذیری را برای تعداد چتر در گیاه و عملکرد دانه در رازیانه گزارش کردند. وراثت‌پذیری بالا برای صفات تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک توسط آبهای و ساستری (Abhay & Sastry, 2011) و روپش یوگی و همکاران (Roopesh Yogi, Meena, Kakani, & Solanki, 2013) گزارش شد. در تجزیه مرکب ایزدی دربندی و همکاران (Izadi-Darbandi, Bahmani, Ramshini, & Moradia, 2013) با برآورد صفات فیزیولوژیک و درصد اسانس در رازیانه‌های ایرانی، وراثت‌پذیری عمومی را در طول دو سال برای درصد اسانس و عملکرد دانه به‌ترتیب ۴۶٪ و ۶۳٪ برآورد کردند. در حقیقت، توارث‌پذیری نسبتا بالای عملکرد دانه نسبت به دیگر صفات بیان می‌کند که اثرات محیطی نسبت کمتری از تنوع فنوتیپی کل را در بر می‌گیرد. لذا در نسل‌های در حال تفکیک، انتخاب ژنوتیپ‌های برتر براساس عملکرد دانه می‌تواند موثر باشد.

جدول ۸- برآورد پارامترهای ژنتیکی برای صفات کمی در ژنوتیپ‌های رازیانه
Table 8- Estimate of genetic parameters for quantitative traits of the fennel genotypes

Traits	صفات	واریانس ژنتیکی Genotype variance	واریانس فنوتیپی Phenotype variance	ضریب تغییرات ژنتیکی Genotypic coefficient of variation	ضریب تغییرات فنوتیپی Phenotypic coefficient of variance	وراثت‌پذیری عمومی Heritability, broad-Sense
No. seed/ main umbel	تعداد دانه در چتر اصلی	8971.33	9929.97	24.06	25.31	90.35
No. umbel/plant	تعداد چتر در بوته	284.73	388.89	19.25	22.50	73.22
Number of nodes/main branch	تعداد گره در شاخه اصلی	2.08	2.45	14.65	15.90	84.92
No. umbellets/ main umbel	تعداد چترک در چتر اصلی	26.97	29.31	24.46	25.50	92.02
essential oil content (%)	محتوی اسانس	0.02	0.05	6.81	11.35	36.00
Weight of 1000 seed (g)	وزن هزار دانه	0.09	0.13	8.93	10.68	70.00
Seed yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد دانه در متر مربع	1953.39	2085.79	23.82	24.62	93.65
Essential oil yield ($cm^3.m^{-2}$)	عملکرد اسانس	0.72	0.81	23.30	24.71	88.93
Weight of Seed / plant	وزن دانه در بوته	202.21	382.72	25.36	34.88	52.83
Plant biomass (g)	بیومس بوته	46.04	66.81	32.50	39.15	68.91
Harvest index	شاخص برداشت	0.00	0.01	14.31	19.85	52.00

نتیجه‌گیری

یکی از اهداف راهبردی در برنامه‌های به‌نژادی معرفی ژنوتیپ‌هایی است که از عملکرد بالا و پایداری عملکرد برخوردار باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که صفات مطلوب و مفیدی در ارقام سینتتیک رازیانه قابل بهره‌برداری است. از سوی دیگر، گسترش پایه ژنتیکی منابع به‌منظور به حداقل رساندن خطر فرسایش ژنتیکی ضروری است، همچنین اعتقاد بر این است که استفاده از مواد متنوع ژنتیکی متضمن افزایش توان تولید و پایداری عملکرد است (Rajaram, 2000). تفاوت معنی‌دار بین والدین و ارقام سینتتیک برای صفات مورد مطالعه بیانگر تنوع مناسب برای انتخاب و یا بهره‌برداری از ایجاد ارقام سینتتیک در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بوده است. علاوه بر این، میانگین مربعات والدین در برابر ارقام سینتتیک برای اغلب صفات معنی‌دار بود که مبین بروز هتروزیس در این صفات بوده است. نتایج حاصله نشان داد که ارقام سنتتیک ایجاد شده، نسبت به ژنوتیپ‌های والدی خود از لحاظ عملکرد دانه و عملکرد اسانس برتری داشتند همچنین هتروزیس اکثر صفات ارقام سینتتیک افزایشی و مثبت بوده است. بالاترین درصد هتروزیس نسبت به والدین برای صفات عملکرد دانه، عملکرد اسانس و تعداد چتر در بوته بود. صفات مربوط به اجزای عملکرد دارای وراثت‌پذیری بالاتری نسبت به سایر صفات بودند. تنوع زیادی که در اثر تلاقی چندین جزء با قابلیت ترکیبی بالا در ارقام سنتتیک به‌وجود می‌آیند به آن‌ها در مقایسه با رقم‌های معمولی انعطاف‌پذیری و قابلیت انطباق زیادی را می‌دهند (Honarnejad, 1993) که باعث عملکرد بهتر این ارقام نسبت به والدین شان در شرایط محیطی متغییر می‌شود. از آن‌جایی‌که یکی از اهداف مهم به‌نژادگر افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد طی بررسی ارقام سینتتیک مورد مطالعه در این آزمایش مشخص گردید که ارقام سینتتیک دارای عملکرد و هتروزیس مطلوبی بوده و از نظر ویژگی‌های زراعی همچون تعداد چتر و تعداد دانه در چتر (در مقایسه با والدین مربوطه) از میزان بالایی برخوردارند. به‌عنوان نتیجه باید گفت که روش اصلاحی ایجاد ارقام سینتتیک در گیاه رازیانه موفقیت‌آمیز می‌باشد، می‌توان انتظار داشت که این ارقام سینتتیک بتوانند پس از ثبت به‌عنوان رقم تجاری، در بازار گیاهان دارویی معرفی و گسترش یابند.

References

1. Aastveit, A. H., & Aastveit, K. (1990). Theory and application of open-pollination and polycross in forage grass breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, *79*, 618-624.

2. Abhay, D. & Sastry, E. V. D. (2011). Variability, character association and path coefficient analysis in fennel. *Indian Journal of Horticulture*, *68*(3), 351-356.
3. Adhikari, A., Ibrahim, A. M. H., Rudd, J. C., Baenziger, P. S., & Sarazin, J. B. (2020). Estimation of heterosis and combining abilities of U.S. winter wheat germplasm for hybrid development in Texas. *Crop Science*, *60*(1), 788-803. https://doi.org/10.1002/csc2.20020
4. Agnihotri, P., Dashora, S. L., & Sharma, R. K. (1997). Variability, correlation and path analysis in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Spices Aromatic Crops*, *6*, 51-54.
5. Akbari, A., Izadi Darbandi, A., Bahmani, K., & Ramshin, H. A. (2016). Relationships between seed yield and plant characteristics in synthetic cultivars and elite ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *17*(4), 301-314. (in Persian).
6. Akbari, A., Izadi Darbandi, A., Bahmani, K., & Ramshini, H. A. (2015). Evaluation of drought tolerance in synthetic varieties and superior ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17(3), 193-204. (in Persian).
7. Amato, G., Stringia, L., & Glamal, D. (1997). Evaluation of progenies of sulla (*Hedgsarum Coronarium* L.) derive from Sicilian landraces. *Rivista- di- Agronomia*, *31*, 166-769.
8. Arzani, A. (2008). Breeding Field Crops. *Isfahan University of Technology Publication*. Isfahan, Iran. 660 pp**.**
9. Bahmani, K., Izadi Darbandi, A., & Sadat Noori, S. A. (2014). Evaluation of essential oil content and components in some Iranian fennel ecotypes. *Journal of Crop Improvement*, *15*(4), 13-24. (in Persian).
10. Bahmani, K., Izadi Darbandi, A., & Akbari, A. (2016). Development of drought tolerant synthetic cultivars of fennel and their assessment under normal and drought conditions at stage after flowering. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *24*(1), 29-41. (in Persian).
11. Bahmani, K., Izadi Darbandi, A., Ramshini, H. A., Moradi, N., & Akbari, A. (2015). Agromorphological and phytochemical diversity of various Iranian fennel landraces. *Industrial Crops and Products*, *77*, 282-294. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.059
12. Bahmani, K., Izadi-Darbandi, A., Jafari, A. A., Sadat Noori, S. A., & Farajpour, M. (2012). Assessment of genetic diversity in iranian fennels using ISSR markers. *Journal of Agricultural Science*, *4*, 79-84. https://doi.org/10.5539/jas.v4n9p79
13. Bahmani, K., Izadi-Darbandi, A., Sadat Noori, S. A., & Jaari, A. A. (2013). Assessment of the genetic diversity in Iranian fennels by RAPD markers , *Journal of Herbs Spices & Medicinal Plants*, 19(3), https://doi.org/10.1007/s10681-014-1103-7
14. Blum, A. (2013) Heterosis, stress, and the environment: a possible road map towards the general improvement of crop yield. *Journal of Experimental Botany*, *64*(16), 4829-4837. https://doi.org/10.1093/jxb/ert289
15. Canter, P. H., Thomas, H., & Ernst, E. (2005). Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *Trends in Biotechnology*, *23*(4), 180-185. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.02.002
16. Cosge, B., Kiralan, M., & Gurbuz, B. (2008). Characteristics of fatty acids and essential oil from sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. dulce) and bitter fennel fruits (*F. vulgare* Mill. var. vulgare) growing in Turkey. *Natural Product Research*, 22, 1011-1016. https://doi.org/10.1080/14786410801980675
17. Dashora, A., Sastry, E. V. D., Singh, D., & Nagda, A. K. (2003). Combining ability analysis in varietal crosses of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, *63*, 89-90.
18. FAO, 2012. stat3.fao.org/faostat-gateway/go/to /download/P/PM/E
19. Farshadfar, A. (2005). *The Application of Quantitative Genetics in Plant Breeding*. Kermanshah Razi University Press, Kermanshah, Iran
20. Farsi, M., & Baqheri, A. (2006). *Principles of Plant Breeding*. Publication of Jahad Daneshgahi of Mashhad. Third edition: 116 p. (in Persian).
21. Farzaneh, A., Ebadi, M. T., Nemati, S. H., & Arouiee, H. (2011). Evaluation of germination factors of two improved cultivars and one Iranian landrace of cornflower (*Centaurea cyanus* L.) under salt stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *27*(1), 161-172. (in Persian).
22. Fu, D., Xiao, M., Hayward, A., Fu, Y., Liu, G., Jiang, G., & Zhang, H. (2014). Utilization of crop heterosis: a review. *Euphytica*, 197, 161-173. https://doi.org/10.1007/s10681-014-1103-7
23. Hanson, A. A. (1988). *Alfaalfa and Alfaalfa improvement*. Academic press. pp: 784.
24. Honarnejad, R. (1993). *Principles of Plant Breeding*. Publication of University of Gilan, 275 p. (in Persian).
25. Izadi-Darbandi, A., Bahmani, K., Ramshini, H. A., & Moradia, N. (2013). Heritability estimates of agronomic traits and essential oil content in Iranian fennels. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *15*(6), 1275-1283.
26. Khammassi, M., & Loupassaki, S. (2018). Variation in essential oil composition and biological activities of *Foeniculum vulgare* Mill. populations growing widely in Tunisia. *Wiley Online Libr*, *42*. https://doi.org/10.1111/jfbc.12532
27. Khorshidi, J., Fazel Mirahmadi, S., & Fakhr Tabatabaei, M. (2010). Oil content and yield of *Foeniculum vulgare*

Mill. cv. Soroksary seeds as affected by different plant cultivation densities. *Journal of American Science*, *6*, 1098-1100.
28. Kumar, R., Meena, R. S., Verma, A. K., Ameta, H., & Panwar, A. (2017). Analysis of genetic variability and correlation in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) germplasm. *Agricultural Research and Technology*, *3*(4), 125-129. https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2017.03.555616
29. Longin, C. F. H., Muhleisen, J., Maurer, H. P., Zhang, H., Gowda, M., & Reif J. C. (2012). Hybrid breeding in autogamous cereals. *Theoretical and Applied Genetics*, *125*(6), 1087-1096. https://doi.org/10.1007/s00122-012-1967-7
30. Lozano, G. A. (1998). *Parasitic stress and selfmedication in wild animals*. p. 291–317. In A. L. Page et al. (ed.) Advances in the Study of Behavior. Part 27. 1st. London.
31. Maghsudi Kelardashti, H., Rahimmalek, M., Sabzalian, M. R., & Talebi, M. (2014). An assessment of morphological genetic variations and heritability of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. *Taxonomy and Biosystematics*, *6*(18), 77-86.
32. Meena, R., Kakani, R., Anwer, M., & Panwar, A. (2010). Variability of some morphological characters in fennel (*Foeniculum vulgare*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, *80*(8), 710-712.
33. Munaro, E. M., Eyhe´rabide, G. H., D'Andrea, K. E., Cirilo, A. G., & Otegui, M. E. (2011). Heterosis and environment interaction in maize: what drives heterosis for grain yield? *Field Crops Research*, *124*(3), 441-449.
34. Nemat zadeh, G., & Kiani, G. (2005). *Plant Breeding*. Publication of University of Mazandaran.1, 456p. (in Persian).
35. Nobahar, A., Mostafavi Rad, M., & Ghazi Pirkouhi, M. (2014). Effect of planting pattern and plant density on quantitative and qualitative yield in two basil (*Ocimum basilicum* L.) medicinal plants. *Journal of Crop Production*, *7*(1), 63-77. (in Persian).
36. Patel, D. G., Patel, P. S., & Patel, I. D. (2008). Studies on variability of some morphological characters in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, *17*, 29-32.
37. Petkova, D., & Mirchev, M. (1994). Use of polycross method in developing cv.Prista 3 alfalfa. *Genetics and Breeding*, 27, 118-122.
38. Rahmati, M., Azizi, M., Ebadi, M. T., & Hasanzadeh Khayyat, M. (2010). Study on the effects of different drying methods on weight loss rate, essential oil and chamazolene contents of chamomile (*Matricaria recutita* cv. Germania (diploid)) flowers. *Journal of Horticulture Science*, *24*(1), 29-37. (in Persian).
39. Rajaram, S. (2000). International wheat breeding: past and present achievements and future directions. *Special Report of CIMMYT*, Mexico, DF. Mexico
40. Roopesh Yogi, R. S., Meena, R. K., Kakani, A. P., & Solanki, R. K. (2013). Variability of some morphological characters in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *International Journal of Seed Spices*, *3*(1), 41-43
41. Safaei, L., Afiuni, D., & Zeinali, H. (2013). Correlation relationships and path coefficient analysis between essential oil and essential oil components in 12 genotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 59, 187-200.
42. Safaei, L., Zainali, H., & Afioni, D. (2011). Study of genetic variability of fennel genotypes using agronomic traits. *Iranian Journal of Rangelands and Forest plant Breeding and Genetic Research*, *19*(1), 167-180. (in Persian).
43. Seet, J., Pandey, V. P., Singh, D., & Pattnaik, M. (2020). Genetic variability studies in fennel (*Foeniculum vulgare* L.). *The Pharma Innovation Journal*, *9*(4), 160-164.
44. Sheidai, M., Kalhor Home, N., & Poorneydanei, A. (2007). Cytogenetic study of some populations of *Foeniculum vulgare* (Umbelliferae) in Iran. *Caryologia*, *60*, 257-261. https://doi.org/10.1080/00087114.2007.10797945
45. Singh, G., Maurya, S., Lampasona, M. P., & Catalan, C. (2006). Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract. *Food Control*, *17*, 745-752. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.03.010
46. Veigas, M. (2007). Aromas e sabores de Cuba. E´ vora: Caˆmara Municipal de Cuba. Wijendran, V., & Hayes, K. C. (2004). Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health. *Annual Review of Nutrition*, *24*, 597-615.
47. Yadav, P. S., Pandey, V. P., & Yadav, Y. P. (2013). Variability studies in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, *22*(2), 203-208.
48. Zhang, J., Wu, M., Yu, J., Li, X., & Pei, W. (2016). Breeding Potential of Introgression Lines Developed from Interspecific Crossing between Upland Cotton (*Gossypium hirsutum*) and *Gossypium barbadense*: Heterosis, Combining Ability and Genetic effects. *PLoS ONE*, *11*(1),1-17. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143646